

BEST AVAILABLE COPY

# EUROPEAN PATENT OFFICE

## Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 02000391  
PUBLICATION DATE : 05-01-90

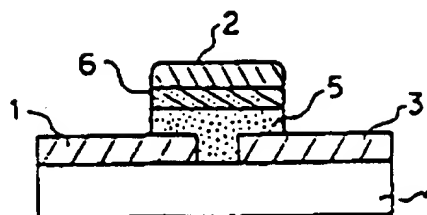
APPLICATION DATE : 04-11-88  
APPLICATION NUMBER : 63278629

APPLICANT : SUMITOMO ELECTRIC IND LTD;

INVENTOR : ITOZAKI HIDEO;

INT.CL. : H01L 39/22 H01L 29/46 H01L 29/784

TITLE : SUPERCONDUCTIVE FIELD-EFFECT TRANSISTOR



ABSTRACT : PURPOSE: To obtain a high-speed three terminal element, operating speed of which is increased and density of which is elevated, by filling a channel between two electrodes of a composite oxide group superconductive material with a semiconductor layer and forming a third electrode for applying an electric field to the semiconductor layer.

CONSTITUTION: A source electrode 3 and a drain electrode 1 are shaped onto the (100) face of an MgO or SrTiO<sub>3</sub> single crystal substrate 4 by a composite oxide superconductor having oxygen deficiency type perovskite crystal structure such as Y<sub>1</sub>Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub>. A semiconductor layer 5 composed of Si, GaAs, etc. is filled and formed into a channel region between the electrodes 1, 3, and an insulator layer 6 consisting of SiO<sub>2</sub>, etc., and a gate electrode made of Al are shaped. An element having such constitution is used as a high-speed three terminal element in which superconductive currents are made to flow into the semiconductor 5 by utilizing a superconductive proximity effect. Since the difference of the thermal expansion coefficients of the substrate 4 and the electrodes 1, 3 is diminished, the effect of heat history in a manufacturing process is reduced. Since the electrodes 1, 3 are shaped onto the (100) face of the substrate 4, the direction that currents are easy to flow can be made to run parallel with the surface, and critical current density JC can be increased.

COPYRIGHT: (C)1990,JPO&Japio

⑨ 日本国特許庁(JP)

⑩ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A) 平2-391

⑬ Int. Cl.<sup>3</sup>

H 01 L 39/22  
29/46

識別記号

Z A A D  
Z

庁内整理番号

8728-5F  
7638-5F  
8624-5F

⑭ 公開 平成2年(1990)1月5日

H 01 L 29/78 3 1 1 X※

審査請求 未請求 請求項の数 1 (全6頁)

⑮ 発明の名称 超電導電界効果トランジスタ

⑯ 特 願 昭63-278629

⑰ 出 願 昭63(1988)11月4日

優先権主張 ⑱ 昭62(1987)11月4日 ⑲ 日本(JP) ⑳ 特願 昭62-278660

㉑ 発 明 者 藤 森 直 治 兵庫県伊丹市昆陽北1丁目1番1号 住友電気工業株式会  
社伊丹製作所内

㉒ 発 明 者 原 田 敬 三 兵庫県伊丹市昆陽北1丁目1番1号 住友電気工業株式会  
社伊丹製作所内

㉓ 発 明 者 矢 津 修 示 兵庫県伊丹市昆陽北1丁目1番1号 住友電気工業株式会  
社伊丹製作所内

㉔ 出 願 人 住友電気工業株式会社 大阪府大阪市東区北浜5丁目15番地

㉕ 代 理 人 弁理士 越 場 隆

最終頁に続く

明 細 書

1. 発明の名称 超電導電界効果トランジスタ

2. 特許請求の範囲

所定の幅のチャネル領域を隔てて酸化物基板上に複合酸化物系超電導材料によって形成された第1並びに第2の電極と、少なくとも該チャネル領域を充填するように形成された半導体層と、該半導体層に電界を印加することができるように形成された第3の電極とを具備することを特徴とする超電導電界効果トランジスタ。

3. 発明の詳細な説明

産業上の利用分野

本発明は、超電導電界効果トランジスタに関する。より詳細には、電極に超電導体を使用した新規な3端子素子の構成に関する。

従来の技術

電子の相転移であるといわれる超電導現象は、特定の条件下で導体の電気抵抗が零の状態となり完全な反磁性を示す現象である。即ち、超電導下では、超電導体に電流を流しても電力損失が全く無く、密度の高い電流が永久に流れ続ける。従って、例えば送電技術に超電導を応用すれば、現在送電に伴って生じているといわれる約7%の不可避な送電損失を大幅に減少できる。また、高磁場発生用電磁石としての応用は、発電技術の分野ではMHD発電、電動機等と共に、起動に発電量以上の電力を消費するともいわれる核融合反応の実現を有利に促進する技術として期待されている。また磁気浮上列車、電磁気推進船舶等の動力として、更に、計測・医療の分野でもNMR、 $\pi$ 中間子治療、高エネルギー物理実験装置などへの利用が期待されている。

更に、上述のような大型の装置における利用とは別に、超電導材料は各種の電子素子への応用も提案されている。代表的なものとしては、超電導

材料どうしを弱く接合した場合に印加電流によって量子効果が巨視的に現れるジョセフソン効果を利用した素子が挙げられる。トンネル接合型ジョセフソン素子は、超電導材料のエネルギーギャップが小さいことから、極めて高速な低電力消費のスイッチング素子として期待されている。また、電磁波や磁場に対するジョセフソン効果が正確な量子現象として現れることから、ジョセフソン素子を磁場、マイクロ波、放射線等の超高感度センサとして利用することも期待されている。更に、電子回路の集積度が高くなるにつれて単位面積当たりの消費電力が冷却能力の限界に達するものと見られている。そこで超高速計算機には超電導素子の開発が要望されている。

従来、様々な努力にもかかわらず、超電導材料の超電導臨界温度  $T_c$  は長期間に亘って  $Nb_3Ge$  の 23 K を越えることができなかった。これに対して、1986年に、ベドノーフおよびミュラー等によって、複合酸化物系超電導材料が高い  $T_c$  を有することが発見されるに至って、高温超電導の可能性

が大きく開けてきた (Bednorz, Müller, "Z. Phys. 864, 1986, 189")。

これまでも複合酸化物系のセラミック材料が超電導特性を示すということ自体は知られていた。例えば、米国特許第 3,932,315号には、Ba-Pb-Bi系の複合酸化物が超電導特性を示すということが記載されており、また、特開昭60-173,885号公報にはBa-Bi系の複合酸化物が超電導特性を示すということが記載されている。しかし、これまでに知られていた複合酸化物超電導材料の  $T_c$  は、10 K 以下と全般的に極めて低く、超電導現象を得るには高価且つ稀少な液体ヘリウム (沸点 4.2 K) の使用が不可避であった。

ベドノーフおよびミュラー等によって発見された酸化物超電導体は、 $(La, Ba)_2CuO_4$  なる組成を有し、 $K_2NiF_4$  型の結晶構造を有するものと見られている。この複合酸化物系超電導材料は、従来から知られていたペロブスカイト型酸化物系超電導材料と結晶構造が類似しているが、 $T_c$  は従来の超電導材料に比べて飛躍的に高い約 30 K とい

う値であった。

また、1987年2月に、チュー等によって90 K級の臨界温度を示すBa-Y-Cu系の複合酸化物が発見された。このYBCOと通称される複合酸化物は  $Y, Ba_2Cu_3O_{7-x}$  で表される組成を有すると考えられている。

更に、続いて発見されたBi-Sr-Ca-Cu系およびTl-Ba-Ca-Cu系複合酸化物は、 $T_c$  が 100 K 以上であるばかりでなく化学的にも安定しており、YBCO等のような超電導特性の経時的劣化が少ないことから実用に向いているのではないかと期待されている。

これらの新しい複合酸化物系超電導材料の発見によって高温超電導体実現の機運が昨今俄かに高まっている。

#### 発明が解決しようとする課題

ところで、現在多くの電子回路は主にシリコン等の半導体と金属電極とにより構成されており、LSI等の集積回路もこれらの部材を高密度に集

積しただけで基本的な構成は変わらない。

これに対して、超電導素子としてジョセフソン素子が知られているが、ジョセフソン素子は所謂2端子素子であり、制御端子となる第3端子をもたないために回路設計が難しくなるという問題がある。

しかしながら、Siに代表される半導体による電子回路では、電流損失や動作速度の点で限界に近づいており、前述のような高温で超電導体となる新規な超電導材料による素子の開発が切望されている。

そこで本発明の目的は、上記従来技術の問題点を解決し、超電導体による高速な動作を電子回路に利用することができる新規な構成の超電導電界効果トランジスタを提供することにある。

#### 問題点を解決するための手段

即ち、本発明に従い、所定の幅のチャネル領域を隔てて酸化物基板上に複合酸化物系超電導材料によって形成された第1並びに第2の電極と、少

なくとも該チャネル領域を充填するように形成された半導体層と、該半導体層に電界を印加することができるように形成された第3の電極とを具備することを特徴とする超電導電界効果トランジスタが提供される。

#### 作用

超電導電界効果トランジスタは、超電導近接効果を利用し、半導体中に超電導電流を流す高速3端子素子である。従来、この超電導電界効果トランジスタは、Pb合金等の金属系超電導材料を用いたものがあり、高速で動作する3端子素子として有効で種々の提案があったが、未だ実用に至っていない。また、金属系超電導体は超電導臨界温度が低いので、ランニングコストの高さ等を含めて実用的ではなかった。

本発明に係る超電導電界効果トランジスタは、酸化物基板、特にMgO単結晶基板、SrTiO<sub>3</sub>単結晶基板上に複合酸化物超電導体電極を形成し、さらに、電極間に形成されたチャネルを複合酸化物

系超電導材料によって形成したことをその主要な特徴としている。

この本発明に係る超電導電界効果トランジスタは、まず、基板としてMgO単結晶基板またはSrTiO<sub>3</sub>単結晶基板の(100)面を成膜面として用いることが好ましい。即ち、本発明に係る超電導電界効果トランジスタにおいてチャネルを形成する複合酸化物超電導体は、その電気抵抗に結晶異方性を有することが知られている。即ち、結晶のa軸およびb軸で決定される面に平行な方向に電流が流れ易い。そこで、MgO単結晶基板あるいはSrTiO<sub>3</sub>単結晶基板の(100)面上に複合酸化物系超電導材料を薄膜として形成することによって、複合酸化物系超電導材料の結晶のc軸を基板成膜面に対し垂直または垂直に近い角度に配向することができ、その結果、特に臨界電流密度J<sub>c</sub>が大きくなる。また、MgOやSrTiO<sub>3</sub>は、熱膨張率が上記の複合酸化物超電導体に近いため、製造工程での熱履歴により生じるミスマッチが最小限に止められることも有利である。

本発明においては、高い超電導臨界温度を示す複合酸化物超電導体を電極に用いて、実用的な超電導電界効果トランジスタとした。本発明の超電導電界効果トランジスタに用いる複合酸化物超電導体としては、YBCOと称されるY<sub>1-x</sub>Ba<sub>x</sub>Cu<sub>2</sub>O<sub>7-y</sub>で代表されるような酸素欠陥型ペロブスカイト結晶構造を有する複合酸化物が好ましい。しかしながらこれに限定されるものではなく、公知の超電導体の任意のものを使用することが可能である。

即ち、特に好ましい複合酸化物系超電導材料として、一般式： $(\alpha_{1-x}\beta_x)\gamma\text{O}$ 、

(但し、 $\alpha$ は周期律表Ⅱa族に含まれる元素であり、 $\beta$ は周期律表Ⅲa族に含まれる元素であり、 $\gamma$ は周期律表Ⅰb、Ⅱb、Ⅲb、ⅣaおよびⅥ族から選択される少なくとも一つの元素であり、 $x$ 、 $y$ 、 $z$ はそれぞれ $0.1 \leq x \leq 0.9$ 、 $0.4 \leq y \leq 3.0$ 、 $1 \leq z \leq 5$ を満たす数である)

で示される組成を有し、ペロブスカイト型または類似ペロブスカイト型酸化物を主体としたものが

挙げられる。

ここで、上記周期律表Ⅱa族元素 $\alpha$ としては、Ba、Sr、Ca、Mg、Be等を具体的に例示することができ、更に、特に好ましい元素としてBa、Srを挙げることができ、更に、元素 $\alpha$ の10~80%をMg、Ca、Srから選択された1種または2種の元素で置換することもできる。

上記元素 $\beta$ としては、Yの他La、Sc、Ce、Gd、Ho、Er、Tm、Yb、Lu等が具体的に例示でき、特に好ましいものとしてY、La、Ho等を挙げることができ、更に、元素 $\beta$ のうち、10~80%をScまたはランタノイド元素から選択された1種または2種の元素で置換することもできる。

元素 $\gamma$ は一般にCuであるが、他にAl、Fe、Co、Ni、Zn、Ag、Ti等を使用することもでき、更に、その一部を周期律表Ⅰb、Ⅱb、Ⅲb、ⅣaおよびⅥ族から選択される他の元素、例えば、Ti、V等で置換することもできる。

また、本発明に係る半導体基板の超電導材料層に適用できる他の有利な材料として、

式： $\alpha, (\beta_{1-x}\alpha_x)_{m+n}\text{Cu}_n\text{O}_{p+y}$

(ここで、 $\alpha$ はBiまたはTlであり、

$\beta$ は $\alpha$ がBiのときはSrであり、 $\alpha$ がTl

のときはBaであり、

$m$ は  $6 \leq m \leq 10$  を満たし、

$n$ は  $4 \leq n \leq 8$  を満たし、

$p = 6 + m + n$  であり、

$x$ は  $0.2 < x < 0.8$  を満たし、

$y$ は  $-2 \leq y \leq 2$  を満たす数を表す)

で表される組成の複合酸化物超電導体を挙げることができる。

また、本発明の超電導電界効果トランジスタに使用する半導体は、Si、III-V族化合物、II-VI族化合物、多元系化合物のいずれの半導体でもよく、それぞれ用途により任意に選択できる。

本発明の超電導電界効果トランジスタを作製する方法を以下に説明する。

まず、上記の酸化物基板の(100)面に電極となる複合酸化物超電導体薄膜を形成する。その方法はスパッタリング、イオンプレーティング、分子

線エビタキシー、CVD(化学的気相反応法)等の蒸着法あるいは蒸着法に類似の方法であることが好ましい。これらの方法の内では特に、マグネトロンスパッタリング法が好ましく、その場合基板温度700℃で成膜することが好ましい。

上記のいずれかの方法で、酸化物基板上に複合酸化物超電導体薄膜を形成した後、この薄膜を加工して電極を形成する。即ち、具体的に後述するように、ソース電極およびドレイン電極に対応する1対の電極を形成するようにパターンニングする。尚、パターンニングは、電子線リソグラフィとハロゲンによる反応性イオンエッチングやArによるスパッタ・イオンエッチングで行うことが好ましい。上記の加工を行った後、超電導電極および酸化物基板上に半導体層を形成する。半導体層は、CVD法等の公知任意の方法で形成する。半導体層形成後、半導体層上にSiO<sub>2</sub>等の絶縁体を熱酸化等により形成し、その上にAl等によりゲート電極を形成する。

以下に実施例を挙げて本発明をより具体的に詳

述するが、以下の開示は本発明の一実施例に過ぎず、本発明の技術的範囲を何ら限定するものではない。

### 実施例

第1図は、本発明に係る超電導電界効果トランジスタの構成例を示す断面図である。

この超電導電界効果トランジスタは、基板4上に形成された1対の電極、即ちドレイン電極1およびソース電極3と、これらの電極1、3の間に形成されたチャネル領域を充填すると共に実質的に電極層の上に一部を覆層された半導体層5と、更にこの半導体層5の上に積層された絶縁体層6およびゲート電極2とを備えている。

本実施例では基板としてMgO単結晶およびSrTiO<sub>3</sub>単結晶を用い、その(100)面上にYBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub>焼結体粉末またはHoBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub>焼結体粉末をターゲットとしたマグネトロンスパッタリング法により複合酸化物薄膜を形成した。基板とターゲットの位置関係および高周波電力の大きさに特に

注意して基板温度が700℃でスパッタリングを行い、複合酸化物超電導体層を1000Åまで成長させた。

次に、上記の結晶基板上に形成された複合酸化物超電導体を電極に加工した。第2図は、ここで形成した電極のパターンを示す図であり、基板4の上方からみたパターンを示している。パターンニングは、フォトリソスト・マスクを用いCl<sub>2</sub>イオンエッチングによりソース電極並びにドレイン電極の2個の電極を形成した。尚、これらの電極間の距離は、2000Åとした。

更に、各超電導電極の後端が露出するように半導体層を形成し、半導体層の上部を熱酸化することによってSiO<sub>2</sub>の絶縁体層6を形成した。その後、スパッタ蒸着によりAl電極をゲート電極2として形成した。

尚、本実施例では、半導体として、Si、GaAs、InPを用いた。最後に蒸着によりワイヤボンディング用のAg電極を超電導電極およびゲート電極上に形成し試料とした。

それぞれの試料の超電導電極の臨界温度を以下の第1表に示す。尚、第1表において、 $T_{co}$ は、試料の電気抵抗が急激に低下し始めた温度を、 $T_{ci}$ は電気抵抗が測定できなくなった温度をそれぞれ示している。

第1表

超電導体	基板	半導体	臨界温度 (K)	
			$T_{co}$	$T_{ci}$
Y-Ba-Cu系	MgO	Si	96	93
		GaAs	98	95
		InP	94	91
	SrTiO <sub>3</sub>	Si	97	93
		GaAs	95	92
		InP	93	90
Ho-Ba-Cu系	MgO	Si	94	92
		GaAs	92	90
		InP	91	88
	SrTiO <sub>3</sub>	Si	98	95
		GaAs	92	90
		InP	96	94

することが期待される。

#### 4. 図面の簡単な説明

第1図は、本発明に係る超電導電界効果トランジスタの構成例を示す断面図であり、

第2図は、第1図に示した超電導電界効果トランジスタのソース電極およびドレイン電極のパターニング例を示す図であり、

第3図は、実施例の超電導電界効果トランジスタのドレイン電圧とドレイン電流との関係を示すグラフである。

#### 【主な参照番号】

- |             |            |
|-------------|------------|
| 1・・・ドレイン電極、 | 2・・・ゲート電極、 |
| 3・・・ソース電極、  | 4・・・酸化物基板、 |
| 5・・・半導体、    | 6・・・絶縁体、   |

特許出願人 住友電気工業株式会社  
代理人 弁理士 越 場 隆

更に、上述のようにして作製した超電導電界効果トランジスタを液体窒素で冷却し、導通状態でドレイン電圧とドレイン電流との関係調べた。第3図はこのようにして得られたドレイン電圧とドレイン電流との関係を示すグラフである。

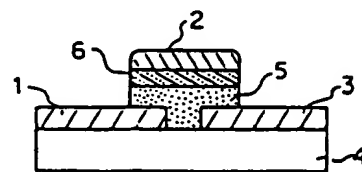
第3図に示すように、この超電導電界効果トランジスタの特性は計算値とよく一致している。

このように本発明に係る超電導電界効果トランジスタは特性的にも優れており、また、複合酸化物系超電導材料の超電導臨界温度が高いことから新規な高速動作素子として広い応用が期待される。

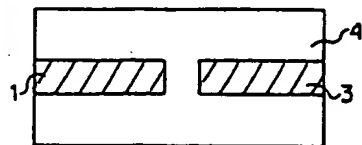
#### 発明の効果

以上詳述したように、本発明の超電導電界効果トランジスタは、超電導電極に複合酸化物超電導体を用いた全く新規なものである。更に、本発明の超電導電界効果トランジスタは、超電導臨界温度が高いだけでなく他の諸特性も優れており、高速3端子素子としてその応用が期待できる。また、電子回路の高速動作化と高密度化を面的に推進

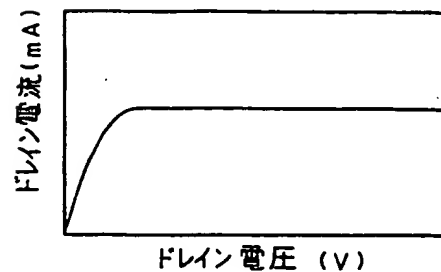
第1図



第2図



第3図



- 1・・・ドレイン電極  
3・・・ソース電極  
5・・・半導体

- 2・・・ゲート電極  
4・・・酸化物基板  
6・・・絶縁体

第1頁の続き

⑤Int. Cl.<sup>8</sup>

H 01 L 29/784

識別記号

庁内整理番号

⑦発明者	上代	哲司	兵庫県伊丹市昆陽北1丁目1番1号	住友電気工業株式会
			社伊丹製作所内	
⑦発明者	糸崎	秀夫	兵庫県伊丹市昆陽北1丁目1番1号	住友電気工業株式会
			社伊丹製作所内	

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER: \_\_\_\_\_**

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**